

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 08110807
PUBLICATION DATE : 30-04-96

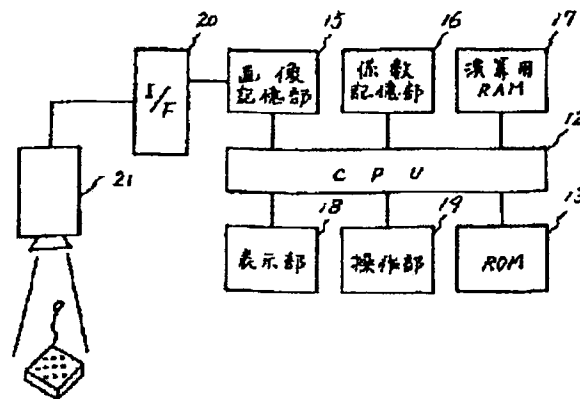
APPLICATION DATE : 04-09-95
APPLICATION NUMBER : 07251971

APPLICANT : OMRON CORP;

INVENTOR : WATANABE MASACHIKA;

INT.CL. : G05B 19/18 G01B 11/24 G06T 7/00
G06T 1/00

TITLE : METHOD AND DEVICE FOR
AUTOMATIC CALIBRATION



ABSTRACT : PURPOSE: To automatically generate a geometrical model of slit light.

CONSTITUTION: A work 23 for calibration which has flat surfaces in two stages differing in height and is provided with plural marks on the respective flat surfaces, is irradiated with the slit light from a projection device 22 to form intersection lines of the slit light on the respective flat surfaces, and an image of the intersection lines is picked up by an image pickup device 21. A CPU 12 detects the two-dimensional coordinates of the respective marks in the two-dimensional image stored in an image storage part 15, and arithmetic operation using the coordinates and the known three-dimensional coordinates of the respective marks is carried out to calculate a camera model. Then, when slight light irradiation and image pickup processing are performed again, the CPU 12 detects the coordinates of image points of slit images in the two-dimensional image and the arithmetic operation using the three-dimensional coordinates of the coordinates and the image points calculated from the camera model is performed to find the geometrical model of the slit light.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-110807

(43)公開日 平成8年(1996)4月30日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 5 B 19/18

G 0 1 B 11/24

G 0 6 T 7/00

K

G 0 5 B 19/ 18

A

G 0 6 F 15/ 62

4 0 0

審査請求 有 発明の数 1 F D (全 14 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号

特願平7-251971

(62)分割の表示

特願昭62-147205の分割

(22)出願日

昭和62年(1987)6月13日

(71)出願人 000002945

オムロン株式会社

京都府京都市右京区花園土堂町10番地

(72)発明者 久野 敦司

京都府京都市右京区花園土堂町10番地 立
石電機株式会社内

(72)発明者 渡邊 正誓

京都府京都市右京区花園土堂町10番地 立
石電機株式会社内

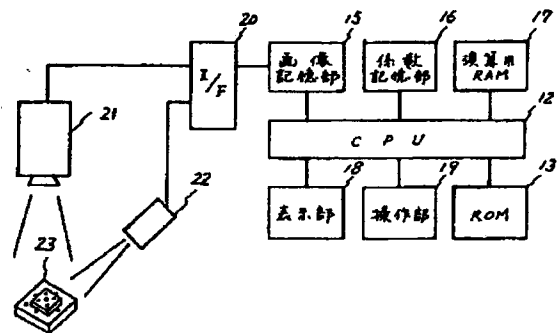
(74)代理人 弁理士 鈴木 由充

(54)【発明の名称】 自動キャリブレーション方法およびその装置

(57)【要約】

【課題】 スリット光の幾何学的モデルを自動的に生成する。

【解決手段】 高さの異なる二段階の平坦面を有し、各平坦面に複数のマークが設けられたキャリブレーション用ワーク23に対し、投光装置22よりスリット光を照射して各平坦面にスリット光の交わり線を生成し、この交わり線を撮像装置21により撮像する。CPU12は、画像記憶部15に格納された2次元画像に対し、まず各マークの画像の2次元座標を検出し、この座標と各マークの既知の3次元座標とを用いた演算を行ってカメラモデルを算出する。ついで再度、スリット光の照射と撮像処理とが行われると、CPU12はその2次元画像よりスリット像の像点の座標を検出し、この座標と前記カメラモデルから算出される像点の3次元座標とを用いた演算を行い、スリット光の幾何学的モデルを求める。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 観測対象物にスリット光を照射してこの観測対象物の表面に生成されたスリット光の交わり線を観測する視覚認識装置において、スリット光の幾何学的モデルのキャリブレーションを自動的に行うための方法であって、

同一平面上の面とはみなせないキャリブレーション用の面をその表面に有するキャリブレーション用ワークに投光手段よりスリット光を照射してその表面に生成されたスリット光の交わり線を撮像手段により撮像し、得られた2次元画像上で前記キャリブレーション用の面における交わり線の位置を検出する第1の工程と、

前記2次元画像上で検出された交わり線の画像位置とあらかじめ求められた前記撮像手段のカメラモデルを用いた所定の演算を行って、スリット光の幾何学的モデルを生成する第2の工程とを一連に実施することを特徴とする自動キャリブレーション方法。

【請求項2】 前記キャリブレーション用ワークは、同一平面上に位置しない複数の面を具備する請求項1に記載された自動キャリブレーション方法。

【請求項3】 同一平面上の面とはみなせないキャリブレーション用の面をその表面に有するキャリブレーション用ワークを用いてスリット光の幾何学的モデルのキャリブレーションを自動的に行うための自動キャリブレーション装置であって、

前記キャリブレーション用ワークにスリット光を照射してその表面にスリット光の交わり線を生成する投光手段と、

前記キャリブレーション用ワークおよび前記スリット光の交わり線を撮像してそれぞれの2次元画像を生成する2次元撮像手段と、

前記2次元撮像手段により撮像された前記2次元画像が格納される画像記憶手段と、

前記2次元撮像手段のカメラモデルを記憶するカメラモデル記憶手段と、

前記画像記憶手段に格納された2次元画像上で前記キャリブレーション用の面における交わり線の位置を検出する交わり線位置検出手段と、

前記カメラモデル記憶手段に記憶されたカメラモデルと前記交わり線位置検出手段により検出された交わり線の画像位置とから所定の演算によりスリット光の幾何学的モデルを生成する演算手段とを備えて成る自動キャリブレーション装置。

【請求項4】 前記キャリブレーション用ワークは、同一平面上に位置しない複数の面を具備する請求項2に記載された自動キャリブレーション装置。

【請求項5】 前記キャリブレーション用ワークは、二段階の高さをもつ各平坦面を具備する請求項3または4に記載された自動キャリブレーション装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、例えば産業用ロボットにおける視覚認識技術に関連し、殊にこの発明は、観測対象物にスリット光を投射してその表面に形成されたスリット光の交わり線を観測する視覚認識装置において、スリット光の幾何学的モデルのキャリブレーションを自動的に行うための自動キャリブレーション方法およびその装置に関する。

【0002】

10 【従来の技術】 従来、物体の形状等を認識するのに種々の方式があり、その一方式として、先般、板状のスリット光を用いた3次元物体認識方式が提案されている。この方式は、投光装置により板状のスリット光を観測対象物に照射してその表面にスリット光の交わり線を生成し、その交わり線を撮像装置により撮像してスリット像を得た後、そのスリット像を画像処理して、対象物の認識処理を行うものである。この種の方式の場合、認識処理に先立ち、前記撮像装置や投光装置のキャリブレーションを実行して、カメラモデルやスリット光モデルを予

20 め求めておく必要がある。

【0003】 従来、スリット光の幾何学モデルのキャリブレーションは、所定のキャリブレーション用ワークを観測位置に設置してスリット光を照射し、その表面に生成されたスリット光の交わり線を撮像して得られた2次元画像上からスリット像を検出した後、その検出結果、スリット光の照射条件、撮像装置やキャリブレーション用ワークの設置位置などの設定条件、補正係数などをコンピュータに与えてキャリブレーション演算を実行させることにより、行われている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところがこのようなキャリブレーション方式の場合、投光装置や撮像装置の調整を多岐にわたって行いながら各調整条件の下での演算処理を行う必要があるため、キャリブレーションを行うのに多大の時間がかかるという問題がある。またこの調整は画素単位で行われるため調整作業が難しい上、種々の補正係数を用意する必要があるという問題も存在する。

40 【0005】 この発明は、上記問題に着目してなされたもので、撮像装置のカメラモデルと2次元画像上のスリット光の交わり線の位置とを用いた演算を行うことにより、スリット光の幾何学的モデルを自動的に生成して、キャリブレーション作業を容易かつ短時間で行うことができる自動キャリブレーション方法およびその装置を提供することを目的とする。

【0006】

50 【課題を解決するための手段】 第1の発明は、観測対象物にスリット光を照射してこの観測対象物の表面に生成されたスリット光の交わり線を観測する視覚認識装置において、スリット光の幾何学的モデルのキャリブレーション

ョンを自動的に行うための方法であって、同一平面上の面とはみなせないキャリブレーション用の面をその表面に有するキャリブレーション用ワークに投光手段よりスリット光を照射してその表面に生成されたスリット光の交わり線を撮像手段により撮像し、得られた2次元画像上で前記キャリブレーション用の面における交わり線の位置を検出する第1の工程と、前記2次元画像上で検出された交わり線の画像位置とあらかじめ求められた前記撮像手段のカメラモデルとを用いた所定の演算を行って、スリット光の幾何学的モデルを生成する第2の工程とを一連に実施することを特徴としている。

【0007】第2の発明は、上記の方法を実施するための自動キャリブレーション装置であって、前記キャリブレーション用ワークにスリット光を照射してその表面にスリット光の交わり線を生成する投光手段と、前記キャリブレーション用ワークおよび前記スリット光の交わり線を撮像してそれぞれの2次元画像を生成する2次元撮像手段と、前記2次元撮像手段により撮像された前記2次元画像が格納される画像記憶手段と、前記2次元撮像手段のカメラモデルを記憶するカメラモデル記憶手段と、前記画像記憶手段に格納された2次元画像上で前記キャリブレーション用の面における交わり線の位置を検出する交わり線位置検出手段と、前記カメラモデル記憶手段に記憶されたカメラモデルと前記交わり線位置検出手段により検出された交わり線の画像位置とから所定の演算によりスリット光の幾何学的モデルを生成する演算手段とを備えている。

【0008】

【作用】同一平面上の面とはみなせないキャリブレーション用の面をその表面に有するキャリブレーション用ワークにスリット光を照射して、その表面に生成されたスリット光の交わり線を撮像し、この2次元画像においてキャリブレーション用の面における交わり線の位置を検出する。ついで、あらかじめ求められた撮像手段のカメラモデルと交わり線について検出された画像位置とを用いた演算が実行され、スリット光の幾何学的モデルが自動的に生成される。

【0009】

【実施例】図1はこの発明にかかる自動キャリブレーション装置2の概念を示しており、この自動キャリブレーション装置2がインターフェイス3を介して物体認識装置1に電気接続されている。物体認識装置1は物体の形状等を認識するためのものであって、撮像装置4と、ビデオ信号を取り込み所定の画像処理を実行して物体認識する画像処理装置5とから構成されている。

【0010】自動キャリブレーション装置2は、コンピュータのCPU6を制御主体としており、撮像装置4のキャリブレーションを実行するためのプログラムを格納するROM7や各種データを格納する演算用RAM8を備えている。CPU6はキャリブレーション用プログラ

ムを解釈実行し、撮像装置4よりキャリブレーション用ワーク9の画像データを取り込んで、所定のキャリブレーション演算を実行する。その結果、カメラモデル（詳細は後述する）が生成され、そのカメラモデルを構成する座標変換係数が物体認識装置1へ出力される。

【0011】図2および図3は、上記自動キャリブレーション装置が組み込まれた物体認識装置を示しており、図2は2次元物体認識装置の例であり、また図3は板状のスリット光を用いた3次元物体認識装置の例である。

【0012】図2の装置例は、コンピュータのCPU12を制御主体とし、このCPU12に対し、画像処理用プログラムやキャリブレーション用プログラムが格納されるROM13、被認識物体の画像やキャリブレーション用ワーク9の画像が格納される画像記憶部15、カメラモデルを構成する座標変換係数が格納される係数記憶部16、演算用に供されるRAM17の他、CRTより成る表示部18やキーボードより成る操作部19が、それぞれ接続されている。前記画像記憶部15は画像メモリより成り、インターフェイス20を介して撮像装置21に接続される。この撮像装置21は例えば2次元CCDテレビカメラより成り、被認識物体やキャリブレーション用ワーク9を撮像してそのビデオ信号を出力する。

【0013】前記キャリブレーション用ワーク9は、図4および図5に示す如く、平面形状が正方形の薄板状をなし、一定高さ（厚み） h の平坦面10上に複数個のマーク11が設けてある。これら各マーク11は同一径の円形であり、このキャリブレーション用ワーク9を撮像して2値化したとき、その背景である平坦面10や床面などと明確に区別できるように円形内を黒く塗り潰してある。またマーク11の総数は10個であり、図5に示す如く、各マーク11に対し「0」～「9」のラベルが割り当ててある。各マーク11は所定の規則に従って配置してあり、ラベルが0、5、6、7、8、9の各マーク11は直交する対角線上にほぼ位置し、その他のラベルの各マーク11はその線外に位置している。なお図示例の各マーク11は同一形状であるが、後記するラベル付けのために個々の形状を違えてもよい。

【0014】図3の装置例は、上記図2の装置例とは、キャリブレーション用ワーク23の態様が異なる点および投光装置22を具備している点で差異がある。なおその他の構成は、図2の実施例と同様であり、ここでは対応する構成に同一の符号を付することにより、その説明を省略する。

【0015】この実施例でのキャリブレーション用ワーク23は、図6および図7に示す如く、高さ（厚み） h_1 、 h_2 の異なる二段階の平坦面24、25を有し、各平坦面24、25上に前記と同様のマーク26が5個宛（合計10個）設けられたものである。各マーク11には図7に示す如く、「0」～「9」のラベルが割り当てられ、前記の実施例と同様の規則に基づき各マーク11

の配置が決定されている。

【0016】前記投光装置22は、被認識物体やキャリブレーション用ワーク23に対し板状のスリット光を斜め上方より照射して、その表面にスリット光の交わり線27を生成するためのもので、この交わり線27を撮像装置21で撮像して、被処理画像としてのスリット像を得る。

【0017】図8および図9は、前記撮像装置21のカメラモデルの構造を示している。同図中、 O_c は撮像装置21の撮像面31の中心点を示し、この中心点 O_c を原点として X_c 軸、 Y_c 軸、 Z_c 軸を各直交軸とするカメラ座標系が設定されている。 R は撮像装置21のレンズ中心であり、結像距離 l_{emb} は O_c 、 R 間の距離で与えられる。また図8中、 S_0 は画像処理時のサンプリングの原点、 PC_x 、 PC_y は X_c 軸方向および Y_c 軸方向の各サンプリングピッチである。なお図8中の I 、 J 座標系はこ*

$$[FRAME] = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & f_{14} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & f_{24} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & f_{34} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} & f_{44} \end{bmatrix} \cdots (1)$$

【0021】ここで f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} を成分とするベクトルはカメラ座標系の X_c 方向の単位ベクトルであり、 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} はそのベクトルの基準座標系における x 、 y 、 z 成分である。また f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} を成分とするベクトル、および f_{13} 、 f_{23} 、 f_{33} を成分とするベクトルはカメラ座標系の Y_c 方向および Z_c 方向の単位ベクトルであり、 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} および f_{13} 、 f_{23} 、 f_{33} はそれぞれベクトルの基準座標系における x 、 y 、 z 成分で※

$$f_{11}^2 + f_{21}^2 + f_{31}^2 = f_{12}^2 + f_{22}^2 + f_{32}^2$$

$$= f_{13}^2 + f_{23}^2 + f_{33}^2 = 1 \cdots (2)$$

【0024】

【数3】

$$f_{11}f_{12} + f_{21}f_{22} + f_{31}f_{32} = 0 \cdots (3)$$

【0025】

【数4】

$$f_{11}f_{13} + f_{21}f_{23} + f_{31}f_{33} = 0 \cdots (4)$$

【0026】

【数5】

$$f_{12}f_{13} + f_{22}f_{23} + f_{32}f_{33} = 0 \cdots (5)$$

【0027】

【数6】

$$f_{41} = f_{42} = f_{43} = 0, f_{44} = 1 \cdots (6)$$

【0028】ただし(2)式は単位ベクトルという条件を表すものであり、(3)～(5)式はカメラ座標系の各軸が直交することを示すものである。

【0029】つぎに結像変換を表す行列を $[LENZ]$ とすると、この $[LENZ]$ はつぎの(7)式で示される。

【0030】

【数7】

*の撮像面31に当てはめられた画像メモリ座標系であり、また図9中の x 、 y 、 z 座標系は物点に空間座標を与える基準座標系である。

【0018】ここでカメラモデルとは、撮像装置の3次元位置および姿勢、レンズの結像距離、ビデオ信号のディジタル化仕様を表現するモデルであって、前二者を外部モデル、後者を内部モデルという。撮像装置の位置および姿勢は前記カメラ座標系を基準座標系から表現したものであり、この撮像装置の位置・姿勢およびレンズの結像距離は撮像装置の移動やピント調整により変化する。

【0019】撮像装置の基準座標系より見た位置・姿勢を $[FRAME]$ とすると、この $[FRAME]$ はつぎの(1)式のように4行4列の行列として表現できる。

【0020】

【数1】

※ある。

【0022】さらに f_{14} 、 f_{24} 、 f_{34} を成分とするベクトルはカメラ座標系の原点 O_c の位置座標であり、 f_{14} 、 f_{24} 、 f_{34} は基準座標系における x 、 y 、 z 成分である。以上から、行列 $[FRAME]$ の各要素については理想的につぎの(2)～(6)式が成立する。

【0023】

【数2】

$$[LENZ] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/l_{emb} & 1 \end{bmatrix} \cdots (7)$$

【0031】さらに撮像装置の内部モデルは、撮像面31上で画像がどのようにサンプリングされるかを示すものであり、これを $[SAMP]$ とすると、つぎの(8)式のような3行3列の行列として表現できる。

【0032】

【数8】

$$[SAMP] = \begin{bmatrix} 1/PC_x & 0 & -ORG_x/PC_x \\ 0 & -1/PC_y & ORG_y/PC_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdots (8)$$

【0033】なお上式中、 ORG_x 、 ORG_y は図8に示す如く、撮像面31におけるサンプリング原点 S_0 の X_c 座標および Y_c 座標を示す。

【0034】いま基準座標系およびカメラ座標系で表現した物点 B_i (図9に示す)の3次元座標を、

$(x_i, y_i, z_i, 1)^T \cdots$ 基準座標系

$(e_i, f_i, g_i, 1)^T \cdots$ カメラ座標系

とし、またこの物点B_iについてカメラ座標系および画像メモリ座標系で表現した像点P_iの座標を、

(p_i, q_i, 1)^T・・・カメラ座標系

(I_i, J_i, 1)^T・・・画像メモリ座標系

とする。なおこれらの各座標は同次座標表現で表してあり、tは転置行列を示す。

【0035】この場合に基準座標系で表現した物点B_iの3次元座標が、カメラ座標系で表現した3次元座標に変換される過程はつぎの(9)式で表される。

【0036】

【数9】

$$\begin{bmatrix} e_i \\ f_i \\ g_i \\ 1 \end{bmatrix} = [\text{FRAME}]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad \cdots(9)$$

【0037】つぎに結像変換によって物点座標が像点座標に変換される過程はつぎの(10)式で表される。

【0038】

【数10】

$$\begin{bmatrix} h_i \cdot p_i \\ h_i \cdot q_i \\ 0 \\ h_i \end{bmatrix} = [\text{LENZ}] \cdot \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \\ g_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad \cdots(10)$$

【0039】なお上式中、h_iは座標のひずみ等を表す変数である。さらにカメラ座標系で表現した像点P_iの座標が画像メモリ座標系で表現した座標に変換される過程はつぎの(11)式で表される。

【0040】

【数11】

$$\begin{bmatrix} I_i \\ J_i \\ 1 \end{bmatrix} = [\text{SAMP}] \cdot \begin{bmatrix} p_i \\ q_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad \cdots(11)$$

【0041】つぎに図10は、図3の装置例において、撮像装置21のキャリブレーションを実行する手順を示している。このキャリブレーションは、6図、7図に示すキャリブレーション用ワーク23を用いて実行されるもので、各マーク画像の中心点を画像上で抽出した上で、各マーク26の中心点の3次元座標(既知)と各マーク画像の中心点の画像上の座標とから撮像装置21のカメラモデルを生成するものである。

【0042】まず同図のステップ1(図中「ST1」で示す)において、マーク画像を2値化するためのしきい値THを決定した後、投光装置22をオフして、キャリブレーション用ワーク23を撮像装置21で撮像する(ステップ2, 3)。撮像装置21はキャリブレーション用ワーク23を画像化してそのビデオ信号をインターフェイス20へ出力するもので、CPU12はこのワーク23の画像を前記のしきい値THにより2値化し、マーク画像の部分(データ「1」の画素)、背景の部分(データ「0」の画素)として、この2値画像

を画像メモリより成る画像記憶部15に格納する。

【0043】つぎにCPU12はステップ4において、キャリブレーション用ワークの2値画像よりマーク画像の中心点を抽出する。図11はこの中心点抽出方法の一例を示すもので、キャリブレーション用ワークの画像32に対しマーク探索用ウィンドウ34およびマーク中心点抽出用ウィンドウ35が設定されている。マーク探索用ウィンドウ34は縦長矩形形状であり、長辺の長さがd_j、短辺の長さがd_iである。またマーク中心点抽出用ウィンドウ35は正方形形状であり、各辺の長さがwである。

【0044】いま各マーク画像33の半径をrとすると、各ウィンドウ34, 35の各サイズは、この半径rの関数としてつぎの(12)~(14)式により求める。

【0045】

【数12】

$$d_j = 3r \quad \cdots(12)$$

【0046】

【数13】

$$d_i = 2r \quad \cdots(13)$$

【0047】

【数14】

$$w = 4r \quad \cdots(14)$$

【0048】ただし半径rは黒画素の全面積Sとマークの個数(=10)からつぎの(15)式によって求めるもので、これにより照明などの観測条件が変動しても、マーク画像位置の抽出の精度が劣化しにくくなる。

【0049】

【数15】

$$r = \sqrt{\frac{S}{10\pi}} \quad \cdots(15)$$

【0050】まずマーク画像33を探索するのに、マーク探索用ウィンドウ34を矢印方向へ走査し、ウィンドウ34内の黒画素の面積がウィンドウ面積の80%を占める位置を求める。そしてその位置でマーク探索用ウィンドウ34を止め、ウィンドウ内の黒画素の重心Gの位置を求める。この重心位置はマーク画像33の中心点C₀の近傍である。

【0051】つぎにこの中心点C₀の位置を求めるのに、マーク中心点抽出用ウィンドウ35を重心Gを中心にしてセットし、このウィンドウ内の黒画素の中心座標を中心点C₀として求める。この中心点C₀の座標が求まると、同じマーク画像の重複処理を防止するため、処理済みマーク画像を消去するとよい。以下同様の処理をマーク探索用ウィンドウ34を画像全面にわたり走査しながら実行して、全てのマーク画像33につき中心点C₀を抽出する。

【0052】図10に戻って、ステップ4の中心点抽出が終わると、つぎのステップ5でCPU12は各マーク

画像33の中心点 C_i の検出座標位置に基づき各マークの配置に関する情報を参照して各マーク画像33をいずれかマークと対応させてラベル付けする。

【0053】すなわちCPU12は、図12に示す如く、まず10個のマーク画像33の中心点 C_i につきその重心 g を求め、その重心 g に最も近い位置にある中心点 $C_i - 9$ のマーク画像33にラベル「9」を割り付ける。つぎにこのラベル「9」のマーク画像33の中心点 $C_i - 9$ から最も遠い位置にある中心点 $C_i - 0$ のマーク画像33にラベル「0」を割り付ける。ついでラベル「9」のマーク画像の中心点 $C_i - 9$ よりラベル「0」のマーク画像の中心点 $C_i - 0$ に向かう単位ベクトルを n とし、このベクトル n に直交する単位ベクトルを t とする。そしてラベル「9」の中心点 $C_i - 9$ を原点とし、各単位ベクトル n 、 t の方向を軸とする座標系によって各マーク画像33の中心点 C_i の座標を表現し直し、第 i 番目に検出したマーク画像の中心点 C_i の n 座標および t 座標を (n_i, t_i) とする。

【0054】つぎにラベル「9」のマーク画像33の中心点 $C_i - 9$ とラベル「0」のマーク画像33の中心点 $C_i - 0$ との距離の1/4をしきい値 ath とし、各マーク画像33の中心点 C_i と前記のしきい値 ath とを用いて、つぎの表1に示す規則に基づき他のマーク画像33のラベル付けを行う。なお同表中、「正」は n 座標や t 座標の値がしきい値 ath より大であることを、また「0」はその座標値の絶対値がしきい値 ath 以下であることを、さらに「負」はその座標値がしきい値 ath より小であることを、それぞれ示している。

【0055】

【表1】

n 座 標	t 座 標	ラ ベ ル
負	正	1
負	0	5
負	負	4
0	正	7
0	負	6
正	正	3
正	0	8
正	負	2

*【0056】つぎにステップ6において、CPU12は各マーク26の中心点の空間座標位置とそれぞれマークと対応関係にある各マーク画像33の中心点の検出座標位置とから所定の演算を実行して撮像装置21の外部モデルを生成する。

【0057】いまこの外部モデルを表す行列を $[EXT]$ とすると、この $[EXT]$ は前記(9)(10)式よりつぎの(16)(17)式のように表される。

【0058】

【数16】

$$[EXT] = [LENZ] \cdot [FRAME]^{-1} \quad \dots (16)$$

【0059】

【数17】

$$\begin{bmatrix} h_i \cdot p_i \\ h_i \cdot q_i \\ 0 \\ h_i \end{bmatrix} = [EXT] \cdot \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots (17)$$

【0060】ここで $[FRAME]^{-1}$ の各要素を、(18)式のように表現すると、(7)式と(18)式とを(16)式に代入してつぎの(19)式を得る。

【0061】

【数18】

30

40

*

$$[FRAME]^{-1} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & t_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (18)$$

【0062】

【数19】

11

12

$$\begin{aligned}
 [\text{EXT}] &= \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & t_{14} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & t_{24} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -t_{31} & -t_{32} & -t_{33} & t_{34} \\ \hline \text{lenb} & \text{lenb} & \text{lenb} & \text{lenb} \end{bmatrix} \quad \dots\dots(19)
 \end{aligned}$$

【0063】ここで(19)式に示す要素をもつ撮像装置21の外部モデルを、各マーク画像33の中心点 C_i の画像メモリ座標系における座標と各マーク26の中心点の基準座標系における座標とを用いて算出する。

【0064】いまラベル i のマーク画像33の中心点 C_i につき、画像メモリ座標系における座標が (I_i, J_i) であるとし、またこれをカメラ座標系で表現した座標を (p_i, q_i) とすると、前記(11)式よりつぎの(20)式を得る。

$$\begin{bmatrix} p_i \\ q_i \\ 1 \end{bmatrix} = [\text{SAMP}]^{-1} \cdot \begin{bmatrix} I_i \\ J_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots\dots(20)$$

【0066】つぎにラベル i のマーク26の中心点の基準座標系における3次元座標 (x_i, y_i, z_i) とすると、(20)式を用いて前記(17)式を解くことにより $[\text{EXT}]$ を求めることができる。この場合に前記(19)式を(17)式に代入し、 p_i, q_i につき整理すると、つぎの(21)(22)式を得る。

【0065】

20 【0067】

【数20】

* 【数21】

$$p_i = \frac{C_{11}x_i + C_{12}y_i + C_{13}z_i + C_{14}}{C_{31}x_i + C_{32}y_i + C_{33}z_i + C_{34}} \quad \dots\dots(21)$$

【0068】

※ ※ 【数22】

$$q_i = \frac{C_{21}x_i + C_{22}y_i + C_{23}z_i + C_{24}}{C_{31}x_i + C_{32}y_i + C_{33}z_i + C_{34}} \quad \dots\dots(22)$$

【0069】上記(21)(22)式を変形しかつ $C_{34}=1$ と置くと、つぎの(23)(24)式を得る。

★ 【0070】

★30 【数23】

$$\begin{aligned}
 &C_{11}x_i + C_{12}y_i + C_{13}z_i + C_{14} \\
 &\quad - C_{31}x_i p_i - C_{32}y_i p_i - C_{33}z_i p_i = p_i \quad \dots\dots(23)
 \end{aligned}$$

【0071】

☆ ☆ 【数24】

$$\begin{aligned}
 &C_{21}x_i + C_{22}y_i + C_{23}z_i + C_{24} \\
 &\quad - C_{31}x_i q_i - C_{32}y_i q_i - C_{33}z_i q_i = q_i \quad \dots\dots(24)
 \end{aligned}$$

【0072】ここで行列 $[C]$ を(25)式のように置き、 ◆6(27)式のように置く。

さらに(23)(24)式が N 個の点($i=1, \dots, N$)につ

【0073】

き成立する場合に、行列 $[A]$ および $[R]$ をつぎの(2◆

【数25】

$$[C] = [C_{11} C_{12} C_{13} C_{14} C_{21} C_{22} C_{23} C_{24} C_{31} C_{32} C_{33}]^T \quad \dots\dots(25)$$

【0074】

【数26】

$$[A] = \begin{bmatrix} x_1 y_1 z_1 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_1 p_1 & -y_1 p_1 & -z_1 p_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_1 y_1 z_1 1 & -x_1 q_1 & -y_1 q_1 & -z_1 q_1 \\ & & & & & & & \\ x_2 y_2 z_2 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_2 p_2 & -y_2 p_2 & -z_2 p_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_2 y_2 z_2 1 & -x_2 q_2 & -y_2 q_2 & -z_2 q_2 \\ & & & & & & & \\ x_i y_i z_i 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_i p_i & -y_i p_i & -z_i p_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_i y_i z_i 1 & -x_i q_i & -y_i q_i & -z_i q_i \\ & & & & & & & \\ x_N y_N z_N 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_N p_N & -y_N p_N & -z_N p_N \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_N y_N z_N 1 & -x_N q_N & -y_N q_N & -z_N q_N \end{bmatrix} \quad \dots (26)$$

【0075】

* * 【数27】

$$[R] = [x_1 y_1 \ x_2 y_2 \ \dots \ x_i y_i \ \dots \ x_N y_N]^{-1} \quad \dots (27)$$

【0076】かくて上記の各行列[C] [A] [R]を用いて、 $i=1, \dots, N$ についての(23)(24)式を書きなおすと、つぎの(28)式の行列方程式を得る。また行列[C]は、最小2乗法を適用することによって、つぎの(29)式のように求まる。

※ 【0077】

【数28】

$$[A] \cdot [C] = [R] \quad \dots (28)$$

【0078】

※ 【数29】

$$[C] = ([A]^{-1} \cdot [A])^{-1} \cdot [A]^{-1} [R] \quad \dots (29)$$

【0079】従って(25)(29)式から(19)式の外部モデルの各パラメータを求めることができる。

★ $t_{21} = C_{21} \cdot K$

..... (e)

20 $t_{22} = C_{22} \cdot K$

..... (f)

【0080】図10に戻って、ステップ6の外部モデルの算出が行われると、つぎにこの外部モデルから結像距離および撮像装置21の位置・姿勢を算出する(ステップ7, 8)。

 $t_{23} = C_{23} \cdot K$

..... (g)

 $t_{24} = C_{24} \cdot K$

..... (h)

 $t_{31} = -lenb \cdot C_{31} \cdot K$

..... (i)

 $t_{32} = -lenb \cdot C_{32} \cdot K$

..... (j)

 $t_{33} = -lenb \cdot C_{33} \cdot K$

..... (k)

 $t_{34} = lenb - lenb \cdot C_{34} \cdot K$

..... (l)

【0081】この場合に外部モデルは非一意的であって、(21)(22)式から明らかのように[EXT]の各要素をK倍(ただしKは比例係数)しても成立する。従って(29)式を解いて得られる[C]は本来の値をK倍したものである可能性がある。この点を考慮して、(19)式の各要素間の関係式を記述するとつぎようになる。

【0082】また行列[FRAME]⁻¹の各要素 t_{ij} には、 $t_{11}^2 + t_{12}^2 + t_{13}^2 = 1$ (m) $t_{21}^2 + t_{22}^2 + t_{23}^2 = 1$ (n)30 $t_{31}^2 + t_{32}^2 + t_{33}^2 = 1$ (o)

の各拘束条件が成立するから、以上の(a)~(o)式を解くことによって、つぎの(30)(31)式を得る。

【0083】

★ 【数30】

$$K = \sqrt{\frac{2}{(C_{11}^2 + C_{12}^2 + C_{13}^2 + C_{21}^2 + C_{22}^2 + C_{23}^2)}} \quad \dots (30)$$

【0084】

☆☆ 【数31】

$$lenb = \sqrt{\frac{(C_{11}^2 + C_{12}^2 + C_{13}^2 + C_{21}^2 + C_{22}^2 + C_{23}^2)}{2(C_{21}^2 + C_{22}^2 + C_{23}^2)}} \quad \dots (31)$$

【0085】かくして(30)(31)式を(a)~(l)式に代入することにより、[FRAME]⁻¹の各要素 t_{ij} を求めることができ、また[FRAME]⁻¹の逆行列をとることによって、[FRAME]が得られる。こうして求めたlenbが結像距離であり、また[FRAME]がカメラの位置・姿勢である。

【0086】上記の撮像装置21のキャリブレーションが完了すると、つぎに図13に示す手順に基づき投光装置22のキャリブレーションを実行することになる。こ

のキャリブレーションは、カメラモデルが既知となった後、前記のキャリブレーション用ワーク23に板状のスリット光を照射してスリット像を生成し、このスリット像を解析することにより、投光装置22のスリット光モデルを生成するものである。

【0087】ここでスリット光モデルとは、図14に示す如く、スリット光40の平面を平面方程式で表現したものである。このスリット光40の平面方程式は、つぎの(32)式で与えられ、従ってスリット光モデルはこの式

のパラメータ a_s , b_s , c_s , d_s の組として表現できる。

【0088】

【数32】

$$a_s x + b_s y + c_s z + d_s = 0 \quad \dots (32)$$

【0089】まず図13のステップ9で、スリット像を2値化するためのしきい値 TH' を決定した後、ステップ10で投光装置22をオンして、キャリブレーション用ワーク23に板状のスリット光40を照射する。これによりワーク23の平坦面24, 25や床面に図7に示すようなスリット光の交わり線27が生成され、この交わり線27は撮像装置21により撮像される(ステップ11)。撮像装置21は交わり線27を画像化してスリット像を求め、そのビデオ信号をインターフェイス20へ出力するもので、CPU12はスリット像を前記のしきい値 TH' により2値化し、例えばスリット像の部分を黒画素(データ「1」の画素)、それ以外の部分を白画素(データ「0」の画素)として、この2値画像を画像記憶部15に格納する(ステップ12)。

【0090】つぎのステップ13で、CPU12はスリット像上の像点の3次元座標を算出する。図15は、像点の座標算出方法を示している。同図中、 $A_1 \sim A_4$, $B_1 \sim B_4$ はキャリブレーション用ワーク23の上下平坦面24, 25の角点であって、各角点に対応するワーク画像41上の角点は $A_1' \sim A_4'$, $B_1' \sim B_4'$ で示してある。上下平坦面24, 25および床面上にはスリット光40の交わり線27が生成され、このワーク23を撮像したとき、ワーク画像41には交わり線27に対応するスリット像42が現れる。交わり線27は物点Bの集合であり、各物点Bとその像点Pとはレンズ中心Rを通る視線43によりその位置関係が決定される。 *

*【0091】すなわち像点Pが与えられたとき、その像点Pに対応する物点Bの3次元座標は像点Pの視線43とキャリブレーション用ワーク23の平坦面(図示例の場合は上段の平坦面25)との交点として求めることができる。いま視線43を表す直線をパラメータ表現するつぎの(33)式で与えられる。ただし k_R はパラメータである。

【0092】

【数33】

$$\left. \begin{aligned} x &= x_R + k_R \cdot n_x \\ y &= y_R + k_R \cdot n_y \\ z &= z_R + k_R \cdot n_z \end{aligned} \right\} \quad \dots (33)$$

【0093】上式中、 (x_R, y_R, z_R) はレンズ中心Rの3次元座標であり、カメラモデルが既知の状態下でつぎの(34)~(36)式により求まる。

【0094】

【数34】

$$x_R = f_{14} + \text{lenb} \cdot f_{13} \quad \dots (34)$$

【0095】

【数35】

$$y_R = f_{24} + \text{lenb} \cdot f_{23} \quad \dots (35)$$

【0096】

【数36】

$$z_R = f_{34} + \text{lenb} \cdot f_{33} \quad \dots (36)$$

【0097】かくて像点Pの3次元座標を (x_0, y_0, z_0) とすると、 n_x, n_y, n_z はつぎの(37)式で与えられる。

【0098】

【数37】

$$\left. \begin{aligned} n_x &= \frac{x_R - x_0}{\{(x_R - x_0)^2 + (y_R - y_0)^2 + (z_R - z_0)^2\}^{1/2}} \\ n_y &= \frac{y_R - y_0}{\{(x_R - x_0)^2 + (y_R - y_0)^2 + (z_R - z_0)^2\}^{1/2}} \\ n_z &= \frac{z_R - z_0}{\{(x_R - x_0)^2 + (y_R - y_0)^2 + (z_R - z_0)^2\}^{1/2}} \end{aligned} \right\} \quad \dots (37)$$

【0099】なお像点Pの3次元座標 (x_0, y_0, z_0) は、カメラモデルが既知の状態下では、つぎの(38)式により求まる。

【0100】

【数38】

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= f_{11} (PC_x \cdot I + ORG_x) + f_{12} (-PC_y \cdot J + ORG_y) + f_{14} \\ y_0 &= f_{21} (PC_x \cdot I + ORG_x) + f_{22} (-PC_y \cdot J + ORG_y) + f_{24} \\ z_0 &= f_{31} (PC_x \cdot I + ORG_x) + f_{32} (-PC_y \cdot J + ORG_y) + f_{34} \end{aligned} \right\} \quad \dots (38)$$

【0101】上記の各式から像点Pの視線43を求めることができるから、つぎに物点Bが位置する平坦面の平面方程式を求める。まずカメラモデルおよびキャリブレーション用ワーク23の形状データが既知であるから、ワーク画像41上の角点A₁' ~ A₄' およびB₁' ~ *

* B₄' の画像上の座標 (I, J) をつぎの(39)(40)式により算出する。

【0102】

【数39】

$$I = \frac{1}{PC_x} \{ (t_{11}X_B + t_{12}Y_B + t_{13}Z_B + t_{14}) / \{ 1 - \frac{1}{lenb} (t_{31}X_B + t_{32}Y_B + t_{33}Z_B + t_{34}) \} \} - \frac{ORG_x}{PC_x} \quad \dots (39)$$

【0103】

※ ※ 【数40】

$$J = \frac{-1}{PC_y} \{ (t_{21}X_B + t_{22}Y_B + t_{23}Z_B + t_{24}) / \{ 1 - \frac{1}{lenb} (t_{31}X_B + t_{32}Y_B + t_{33}Z_B + t_{34}) \} \} + \frac{ORG_y}{PC_y} \quad \dots (40)$$

【0104】なお上式中、(x_s, y_s, z_s) は算出しようとするマーク画像41の角点と対応関係にあるワーク23上の角点の3次元座標を意味している。

【0105】全ての角点A₁' ~ A₄', B₁' ~ B₄' の3次元座標が求まると、つぎに着目する像点Pが角点A₁' ~ A₄' で決まる四角形44と角点B₁' ~ B₄' で決まる四角形45と、どのような包含関係にあるかをつぎの表2にて判断し、これにより物点Bが平坦面24, 25や床面のいずれに位置するかを判断する。

【0106】

【表2】

四角形44との関係	四角形45との関係	物点Bの位置する平面
内側	内側	平坦面25
外側	内側	—
内側	外側	平坦面24
外側	外側	床面

★【0107】上記により物点Bが位置する平面を判別すると、その平面の方程式と前記視線43の方程式とを連立させて解くことにより、物点Bの3次元座標を算出する。このようにしてスリット像42上の各像点Pの3次元座標 (x_i, y_i, z_i) が得られると、スリット光40の平面パラメータとの間につぎの(41)式が成立する。

【0108】

【数41】

$$z_i = a_s x_i + b_s y_i + d_s + e_i \quad \dots (41)$$

【0109】ただし前記(32)式においてc_s = -1と置くと、ここでN個の点について、つぎの(42)式を解くことにより、上式の誤差項e_iについてe_iの総和を最小と☆

【0110】

【数42】

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_i & y_i & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_N & y_N & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_s \\ b_s \\ d_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_i \\ \vdots \\ z_N \end{bmatrix} \quad \dots (42)$$

【0111】ここで(42)式の各行列を[R] [A] る。

[Z] と置くと、この(42)式はつぎの(43)式で表現でき

【0112】

【数43】

$$[R] \cdot [A] = [Z] \quad \cdots(43)$$

【0113】そしてこの式中、スリット光モデルを表す行列[A]はつぎの(44)式で与えられる。

【0114】

【数44】

$$[A] = \{ [R]^T \cdot [R] \}^{-1} \cdot [R] \cdot [Z] \quad \cdots(50)$$

【0115】なお上記は図3の装置例について撮像装置21および投光装置22のキャリブレーションを説明したが、図2の装置例については撮像装置21のキャリブレーションのみを実施すれば足り、しかもその方法は上記と同様であるから、ここではその説明は省略する。

【0116】

【発明の効果】この発明は上記の如く、同一平面上の面とはみなせないキャリブレーション用の面をその表面に有するキャリブレーション用ワークにスリット光を照射してこれを撮像し、得られた2次元画像上でのスリット光の交わり線の位置とあらかじめ求められた撮像手段のカメラモデルとを用いて、スリット光の幾何学的モデルを自動生成するようにしたから、3次元物体認識装置などにおいて必要とされるスリット光の幾何学的モデルのキャリブレーションを自動的に行い得るなど、発明目的を達成した顕著な効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明にかかる自動キャリブレーション装置の概念を示すブロック図である。

【図2】この発明の一実施例を示すブロック図である。

【図3】この発明の他の実施例を示すブロック図である。

【図4】キャリブレーション用ワークの一例を示す斜断面図である。

【図5】キャリブレーション用ワークの一例を示す平面図である。

【図6】キャリブレーション用ワークの他の例を示す斜断面図である。

【図7】キャリブレーション用ワークの他の例を示す平面図である。

【図8】撮像装置のカメラモデルの構造を説明するための説明図である。

【図9】撮像装置のカメラモデルの構造を説明するための説明図である。

【図10】撮像装置のキャリブレーションの実行手順を示すフローチャートである。

【図11】マーク画像の中心点抽出方法を示す説明図である。

【図12】マーク画像のラベル付け方法を示す説明図である。

【図13】投光装置のキャリブレーションの実行手順を示すフローチャートである。

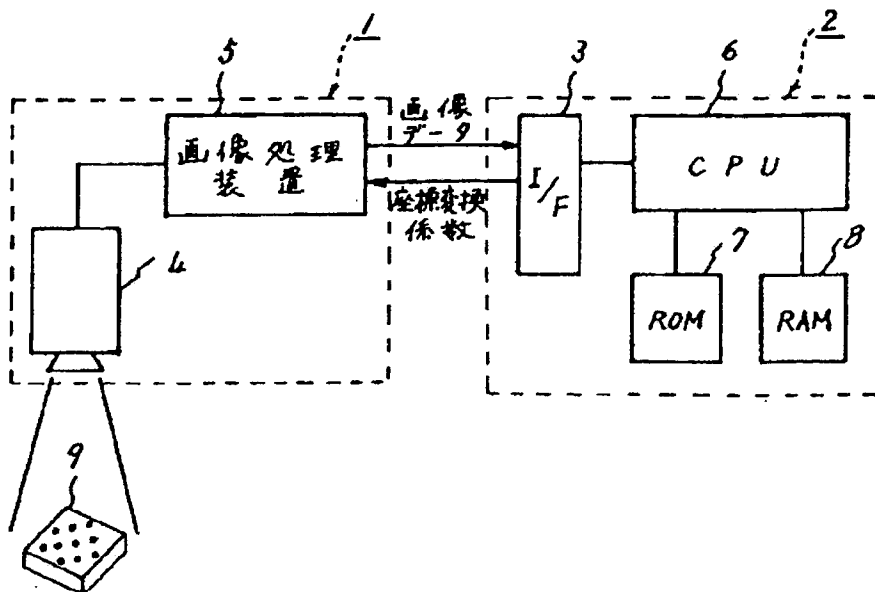
【図14】スリット光モデルの構造を説明するための説明図である。

【図15】像点の座標算出方法を示す説明図である。

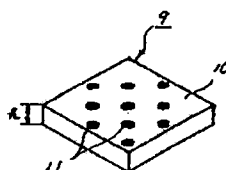
【符号の説明】

- 2 自動キャリブレーション装置
- 12 CPU
- 21 撮像装置
- 22 投光装置
- 23 キャリブレーション用ワーク

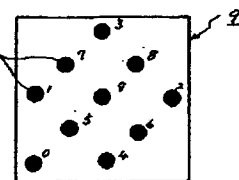
【図1】



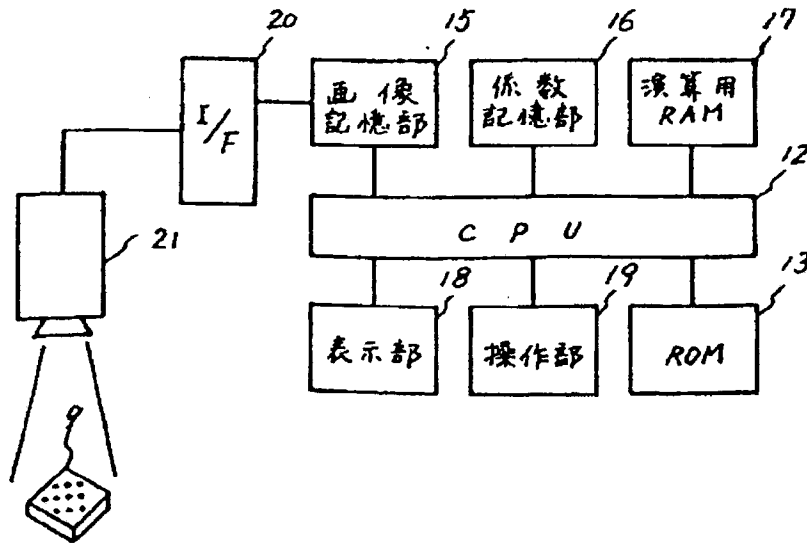
【図4】



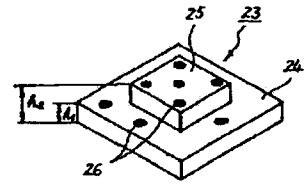
【図5】



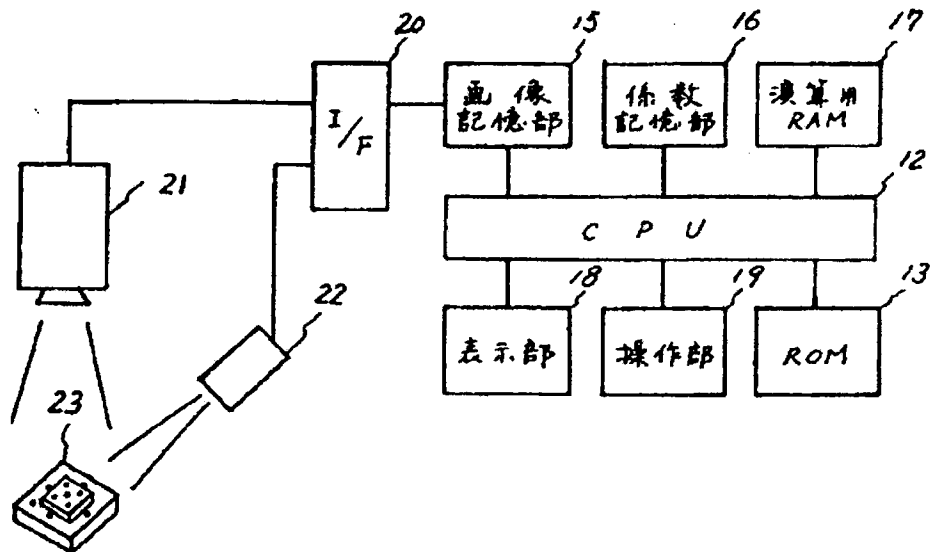
【図2】



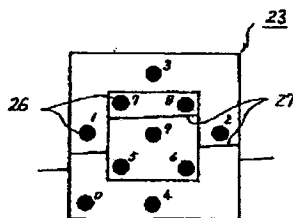
【図6】



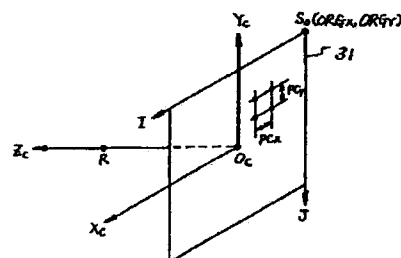
【図3】



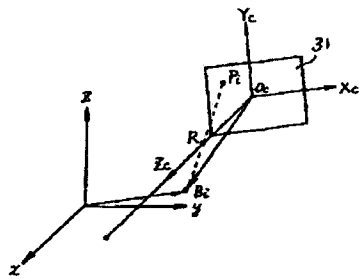
【図7】



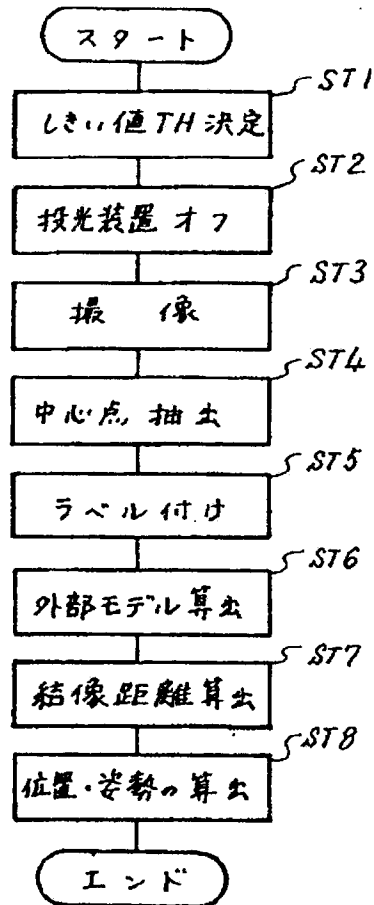
【図8】



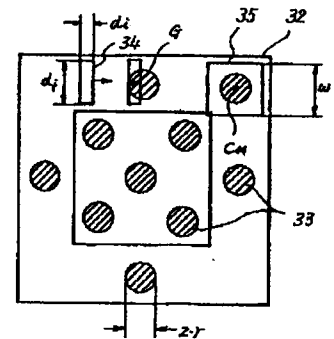
【図9】



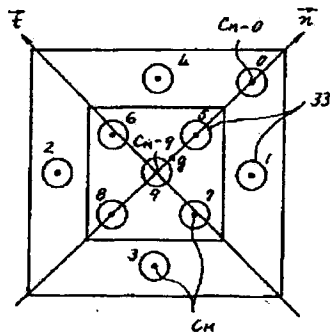
【図10】



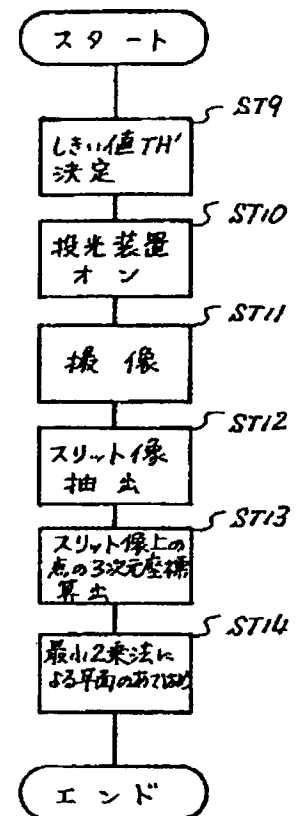
【図11】



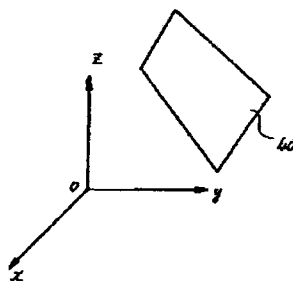
【図12】



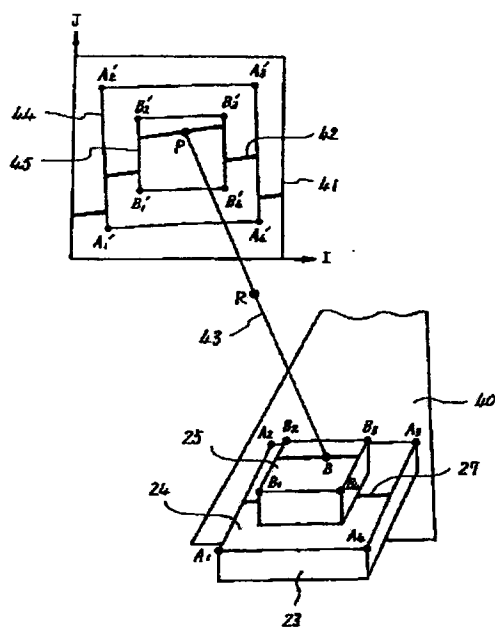
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

G 0 6 T 1/00

識別記号 庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 0 6 F 15/62
15/64

4 1 5

M